

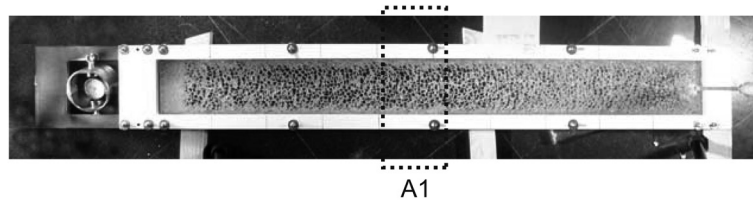
9 Anhang zu den Kapiteln 1 - 8

Anhang zu Abschnitt 2.2.2

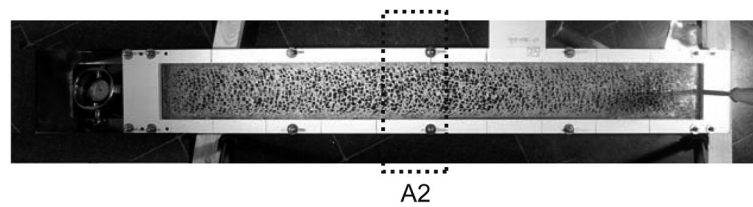
Versuche zur Ausdehnung und Rissgeschwindigkeit von brechendem Einscheibensicherheitsglas

Bruchbild: Probekörper 1 - 3

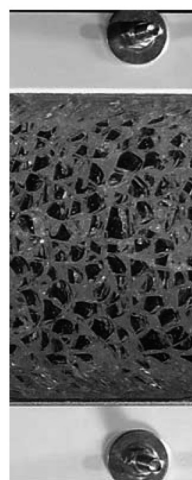
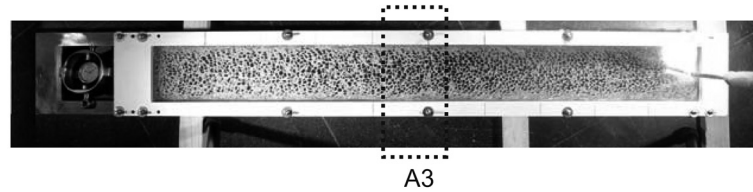
Probekörper 1:



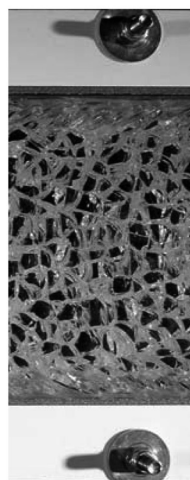
Probekörper 2:



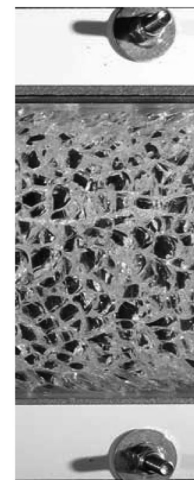
Probekörper 3:



A1



A2



A3

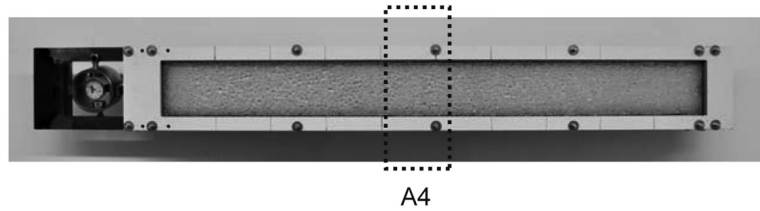
Abb. Anhang zu Abschnitt 2.2.2-1: Bruchbilder der Probekörper 1 - 3

Anhang zu Abschnitt 2.2.2

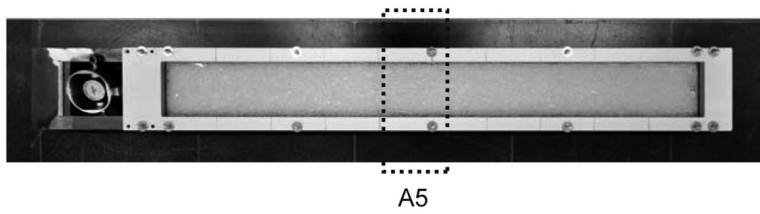
Versuche zur Ausdehnung und Rissgeschwindigkeit von brechendem Einscheibensicherheitsglas

Bruchbild: Probekörper 4 - 6

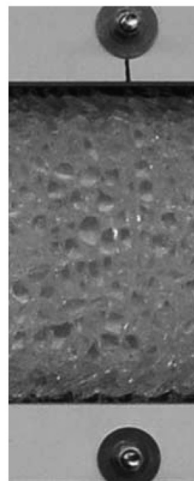
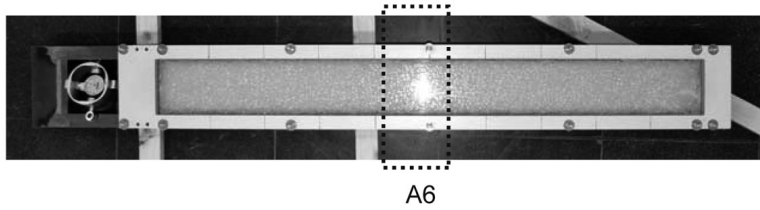
Probekörper 4:



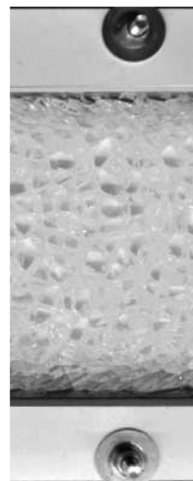
Probekörper 5:



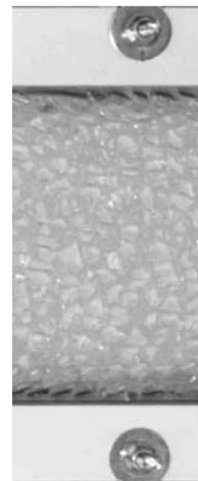
Probekörper 6:



A4



A5



A6

Abb. Anhang zu Abschnitt 2.2.2-2: Bruchbilder der Probekörper 4 - 6

Anhang zu Abschnitt 2.2.4

Versuche zur Rissgeschwindigkeit von brechendem Einscheibensicherheitsglas

Highspeedaufnahme mit 8.000 Bildern pro Sekunde

Probekörper 2: l / b / h = 100 / 10 / 1,2 cm _ ESG



a)



b)



c)



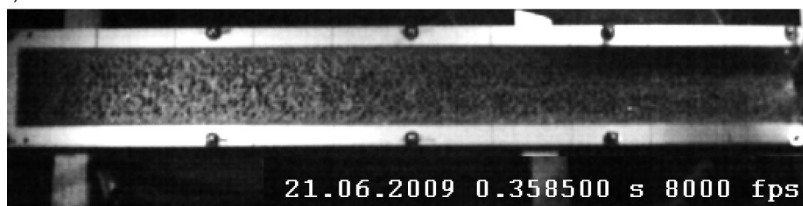
d)



e)



f)



g)

$$v = 0,77 \text{ m} \cdot (4 / 8.000 \text{ s}) = 1.540 \text{ m/s}$$

Anhang zu Abschnitt 2.2.4

Versuche zur Rissgeschwindigkeit von brechendem Einscheibensicherheitsglas

Highspeedaufnahme mit 8.000 Bildern pro Sekunde

Probekörper 3: l / b / h = 100 / 10 / 1,2 cm _ ESG



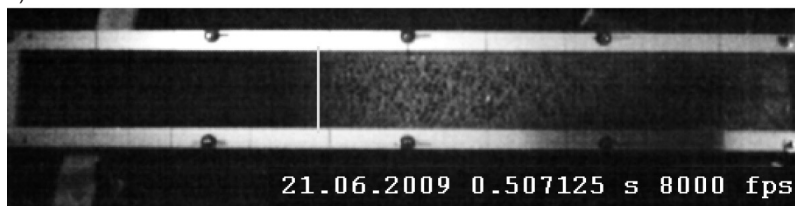
a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

$$v = 0,92 \text{ m} \cdot (4 / 8.000 \text{ s}) = 1.469 \text{ m/s}$$

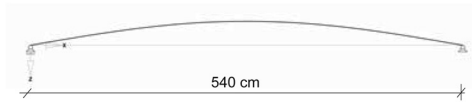
Anhang zu Abschnitt 4.1.2

Vergleich der Schnittgrößen: Kontinuierliche Geometrie - polygonale Geometrie

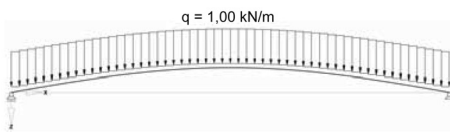
System - annähernd kontinuierlich

Stichhöhe: 30 cm

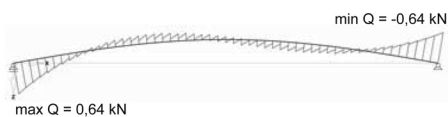
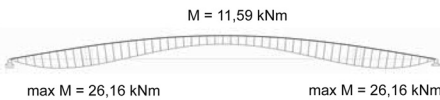
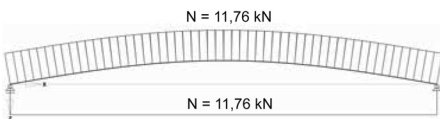
Querschnitt: $b / h = 99,5 / 2,37$ cm
 $I_y = 110,38 \text{ cm}^4$ $E = 7.000 \text{ kN/cm}^2$



Belastung



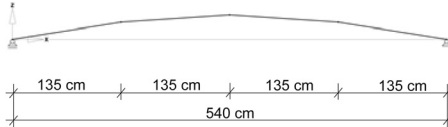
Schnittgrößen



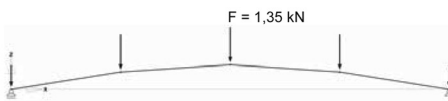
System - polygonal vereinfacht (vier Abschnitte)

Stichhöhe: 30 cm

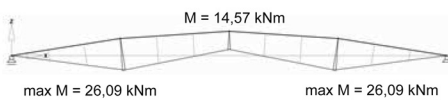
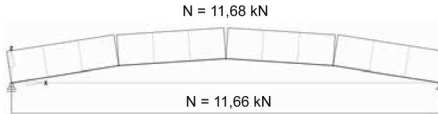
Querschnitt: $b / h = 99,5 / 2,37$ cm
 $I_y = 110,38 \text{ cm}^4$ $E = 7.000 \text{ kN/cm}^2$



Belastung



Schnittgrößen



Anhang zu Abschnitt 4.3

Vergleichsberechnung: Vereinfachte Formel für die Zugbandkraft (4.10)

$$Z = \frac{1,35 \cdot 540 \cdot (16 \cdot 21,2 + 11 \cdot 30)}{96 \left(\frac{7.000 \cdot 110,38}{17.000 \cdot 1,54} + \frac{2 \cdot 21,2^2 + 21,2 \cdot 30 + 30^2}{6} \right)} = \frac{487.846,8}{96(29,51 + 405,81)} = 11,67 \text{ kN}$$

Abweichung zur genauen Lösung der polygonalen Berechnung: 0,09 %

Anhang zu Abschnitt 5.7.1

Berechnungsergebnisse tabellarisch

Beispiel 4: Versagender Sinusbogen mit symmetrischer Last

Rahmenparameter

Masse 1: 1,00 kg
Masse 2: 1,00 kg

$$\text{Formel für } S_{dyn} \quad S_{dyn3} = \frac{2(S'_{dyn2} - \bar{S}_{dyn2})}{2(\bar{S}_{dyn2})^2 + 1} \quad (5.14 \text{ b})$$

Radius Stab 1: 0,301 m
Radius Stab 2: 0,303 m
Zeitschritte Δt : 0,040 s
0,015 s (letzter Schritt)

$$\text{Formel für } \Delta S_{dyn} \quad \Delta S_{dyn3} = \frac{2 \cdot (k_{sp1} \cdot \bar{S}_1)}{2 \cdot (\bar{S}_{dyn2})^2 + 1} / k_F \quad (5.17 \text{ b})$$

Kraftecke					Translation (aus S_{dyn} und ΔS_{dyn})					Zentripetalweg
Zeitschritt	0-System	1-System	Federkonstante	dynamische Kräfte	S_{dyn}	Beschleunigung	Geschwindigkeit	Weg	$r_{zp,i} = \frac{v_{dyn}^2 \cdot \Delta t^2}{2 \cdot l}$ (5.10) [mm]	
[s]	$S_{dyn2} = S_{dyn4}$ [N]	$S_{dyn2} = S_{dyn4}$ [-]	$\bar{S}_1 = \bar{S}_4$ [-]	$k_F = m/\Delta t^2$ [N/m]	ΔS_{dyn} [N]	$a_i = F_{dyn} / m$ [m/s²]	$v_i = v_{i-1} + (a_i \cdot \Delta t)$ [m/s]	$\Delta r_i = v_i \cdot \Delta t$ [cm]		
1	0,00 - 0,04	-5,26	-0,33		S_{dyn2}	4,34	4,340	0,087	0,35	0,02
					S_{dyn3} (5.14 b)	2,85	2,851	0,057	0,23	
					S_{dyn4}	4,34	4,340	0,087	0,35	0,02
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
			1,60	625	ΔS_{dyn3} (5.17 b)	-0,03	-0,033	-0,001	-0,01	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	4,35	4,350	0,087	0,35	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	2,82	2,82	0,056	0,23	
			$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	4,35	4,350	0,087	0,35			
2	0,04 - 0,08	-5,92	-0,27		S_{dyn2}	5,17	5,170	0,294	1,18	0,23
					S_{dyn3} (5.14 b)	2,79	2,790	0,168	0,67	
					S_{dyn4}	5,17	5,170	0,294	1,18	0,23
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
			1,52	625	ΔS_{dyn3} (5.17 b)	-0,38	-0,380	-0,015	-0,06	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	5,27	5,270	0,298	1,19	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	2,41	2,410	0,153	0,61	
			$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	5,27	5,270	0,298	1,19			
3	0,08 - 0,12	-7,66	-0,11		S_{dyn2}	7,47	7,470	0,597	2,39	0,95
					S_{dyn3} (5.14 b)	1,65	1,645	0,219	0,87	
					S_{dyn4}	7,47	7,470	0,597	2,39	0,95
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
			1,33	625	ΔS_{dyn3} (5.17 b)	-1,54	-1,536	-0,061	-0,25	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	7,65	7,650	0,604	2,42	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	0,11	0,11	0,157	0,63	
			$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	7,65	7,650	0,604	2,42			
4	0,12 - 0,16	-9,99	0,09		S_{dyn2}	9,80	9,800	0,996	3,98	2,64
					S_{dyn3} (5.14 b)	-1,77	-1,770	0,086	0,35	
					S_{dyn4}	9,80	9,800	0,996	3,98	2,64
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
			1,12	625	ΔS_{dyn3} (5.17 b)	-3,63	-3,631	-0,145	-0,58	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	9,49	9,490	0,983	3,93	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-5,40	-5,40	-0,059	-0,24	
			$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	9,49	9,490	0,983	3,93			
5	0,16 - 0,20	-12,21	0,28		S_{dyn2}	10,57	10,570	1,406	5,62	5,26
					S_{dyn3} (5.14 b)	-5,91	-5,911	-0,295	-1,18	
					S_{dyn4}	10,57	10,570	1,406	5,62	5,26
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
			0,92	625	ΔS_{dyn3} (5.17 b)	-5,22	-5,225	-0,209	-0,84	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	9,10	9,100	1,347	5,39	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-11,14	-11,14	-0,504	-2,02	
			$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	9,10	9,100	1,347	5,39			
6	0,20 - 0,215	-14,14	0,44		S_{dyn2}	10,16	10,160	1,500	2,25	5,98
					S_{dyn3} (5.14 b)	-8,97	-8,970	-0,639	-0,96	
					S_{dyn4}	10,16	10,160	1,500	2,25	5,98
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
			0,76	625	ΔS_{dyn3} (5.17 b)	-4,09	-4,094	-0,164	-0,66	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	8,60	8,600	1,476	2,21	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-13,06	-13,06	-0,700	-1,05	
			$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	8,60	8,600	1,476	2,21			

X,XX S_{dyn} und ΔS_{dyn} mit Formeln (5.14) und (5.17) berechnete Werte
 X,XX gibt Wegstrecke im Lageplan vor
 - nicht ermittelt
 X,XX wird aus Kraftecke hier eingetragen

Anhang zu Abschnitt 5.7.2

Berechnungsergebnisse tabellarisch

Beispiel 5: Versagender, rahmenartiger Bogen mit symmetrischer Last

Rahmenparameter

Masse 1: 1,00 kg
Masse 2: 1,00 kg

Formel für S_{dyn}
$$S_{dyn3} = \frac{2(S_{dyn2} \cdot \bar{S}_{dyn2})}{2(\bar{S}_{dyn2})^2 + 1} \quad (5.14 \text{ b})$$

Radius Stab 1: 0,301 m
Radius Stab 2: 0,303 m
Zeitschritte Δt : 0,040 s
0,031 s (letzter Schritt)

Formel für ΔS_{dyn}
$$\Delta S_{dyn3} = \frac{2 \cdot (f_{sp1} \cdot \bar{S}_1)}{2 \cdot (\bar{S}_{dyn2})^2 + 1} / k_F \quad (5.17 \text{ b})$$

Zeitschritt [s]	Kraftecke				Translation (aus S_{dyn} und ΔS_{dyn})					Zentripetalweg
	0-System $S_{dyn2} = S_{dyn4}$ [N]	1-System $\bar{S}_{dyn2} = \bar{S}_{dyn4}$ [-]	$\bar{S}_1 = \bar{S}_4$ [-]	Federkonstante $k_F = m/\Delta t^2$ [N/m]	dynamische Kräfte	S_{dyn} ΔS_{dyn} [N]	Beschleunigung $a_i = F_{dyn} / m$ [m/s ²]	Geschwindigkeit $v_i = v_{i-1} + (a_i \cdot \Delta t)$ [m/s]	Weg $\Delta r_i = v_i \cdot \Delta t$ [cm]	$r_{p,i} = \frac{v_{dyn,i}^2}{2 \cdot \cdot } \cdot \Delta t^2$ [mm]
1	0,00 - 0,04	9,91	-1,84	625	S_{dyn2}	1,29	1,290	0,026	0,10	0,00
					$S_{dyn3} \text{ (5.14 b)}$	-4,69	-4,690	-0,094	-0,38	
					S_{dyn4}	1,29	1,290	0,026	0,10	0,00
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
					$\Delta S_{dyn3} \text{ (5.17 b)}$	0,00	0,000	0,000	0,00	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	1,29	1,290	0,026	0,10	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-4,69	-4,690	-0,094	-0,38	
2	0,04 - 0,08	13,25	-2,18	625	S_{dyn2}	1,48	1,480	0,085	0,34	0,02
					$S_{dyn3} \text{ (5.14 b)}$	-5,50	-5,499	-0,314	-1,26	
					S_{dyn4}	1,48	1,480	0,085	0,34	0,02
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
					$\Delta S_{dyn3} \text{ (5.17 b)}$	-0,01	-0,009	0,000	0,00	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	1,49	1,490	0,085	0,34	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-5,51	-5,509	-0,314	-1,26	
3	0,08 - 0,12	33,58	-4,25	625	S_{dyn2}	1,16	1,160	0,132	0,53	0,05
					$S_{dyn3} \text{ (5.14 b)}$	-7,69	-7,688	-0,622	-2,49	
					S_{dyn4}	1,16	1,160	0,132	0,53	0,05
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
					$\Delta S_{dyn3} \text{ (5.17 b)}$	-0,01	-0,011	0,000	0,00	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	1,12	1,120	0,130	0,52	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-7,70	-7,700	-0,622	-2,49	
4	0,12 - 0,16	-130,25	12,59	625	S_{dyn2}	-0,52	-0,520	0,109	0,44	0,03
					$S_{dyn3} \text{ (5.14 b)}$	-10,31	-10,313	-1,035	-4,14	
					S_{dyn4}	-0,52	-0,520	0,109	0,44	0,03
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
					$\Delta S_{dyn3} \text{ (5.17 b)}$	-0,002	-0,002	0,000	0,00	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	-0,52	-0,520	0,109	0,44	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-10,32	-10,320	-1,035	-4,14	
5	0,16 - 0,20	-29,82	2,20	625	S_{dyn2}	-2,79	-2,790	-0,002	-0,01	0,00
					$S_{dyn3} \text{ (5.14 b)}$	-12,29	-12,285	-1,526	-6,10	
					S_{dyn4}	-2,79	-2,790	-0,002	-0,01	0,00
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
					$\Delta S_{dyn3} \text{ (5.17 b)}$	0,00	0,000	0,000	0,00	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	-2,79	-2,790	-0,002	-0,01	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-12,29	-12,290	-1,526	-6,10	
6	0,20 - 0,231	-20,56	1,23	625	S_{dyn2}	-5,16	-5,160	-0,080	-0,12	0,02
					$S_{dyn3} \text{ (5.14 b)}$	-12,56	-12,563	-1,715	-2,57	
					S_{dyn4}	-5,16	-5,160	-0,080	-0,12	0,02
					ΔS_{dyn2}	-	-	-	-	
					$\Delta S_{dyn3} \text{ (5.17 b)}$	-0,01	-0,006	0,000	0,00	
					ΔS_{dyn4}	-	-	-	-	
					$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$	-5,15	-5,150	-0,162	-0,50	
					$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$	-12,57	-12,570	-1,916	-5,94	

Legende: X,XX S_{dyn} und ΔS_{dyn} mit Formeln (5.14) und (5.17) berechnete Werte
 X,XX gibt Wegstrecke im Lageplan vor
 - nicht ermittelt
 X,XX wird aus dem Krafteck hier eingetragen

Anhang zu Abschnitt 5.7.3

Berechnungsergebnisse tabellarisch

Beispiel 6: Versagender Sinusbogen mit asymmetrischer Last

Rahmenparameter

Masse 2: 0,58 kg
Masse 3: 1,00 kg
Masse 4: 1,43 kg

Radius Stab 1: 0,301 m
Radius Stab 2: 0,303 m
Zeitschritte Δt : 0,040 s
0,047 s (letzter Schritt)

$$\text{Formel für } S_{dyn,4} = \frac{(S_{dyn,2} \cdot \bar{S}_{dyn,2}) + (S_{dyn,3} \cdot \bar{S}_{dyn,3})}{\frac{k_{12}}{(S_{dyn,2})^2} + \frac{k_{13}}{(S_{dyn,3})^2} + \frac{1}{k_{14}}} \quad (5.13 - \text{asymmetrische Geometrie, asymmetrische Massen})$$

$$\text{Formel für } \Delta S_{dyn} \quad \Delta S_{dyn,4} = \frac{(r_{sp1} \cdot \bar{S}_1) + (r_{sp4} \cdot \bar{S}_4)}{\frac{(S_{dyn,2})^2}{k_{12}} + \frac{(S_{dyn,3})^2}{k_{13}} + \frac{1}{k_{14}}} \quad (5.16 - \text{asymmetrisch Geometrie, asymmetrische Massen})$$

In der Tabelle entspricht die Reihenfolge der ermittelten Werte für $S_{dyn,i}$ der Vorgehensweise der Analyse mit dynamischen Stabwerkmodellen.

		Kraftecke							Translation (aus S_{dyn} und ΔS_{dyn})					Zentripetalweg
Zeitschritt	[s]	0-System		1-System			Federkonst. $k_F = m/\Delta t^2$ [N/m]	dynamische Kräfte	S_{dyn}	Beschleunigung $a_i = F_{dyn} / m$	Geschwindigkeit $v_i = v_{i-1} + (a_i \cdot \Delta t)$	Weg		$r_{sp,i} = \frac{v_{dyn,i}^2 \cdot \Delta t^2}{2 \cdot l_i}$ [mm]
		S_{dyn2} [N]	S_{dyn3} [N]	\bar{S}_{dyn2} [-]	\bar{S}_{dyn3} [-]	\bar{S}_1 [-]	\bar{S}_4 [-]		[N]	[m/s ²]	[m/s]	$\Delta r_i = v_i \cdot \Delta t$	[cm]	
1	0,00 - 0,04	7,30	28,58	-1,00	-3,14			S_{dyn4} (5.13)	-8,33	-5,825	-0,116	-0,47		0,04
								$S_{dyn,2}$ (Krafteck)	-0,82	-1,426	-0,029	-0,11		0,00
								S_{dyn3} (Krafteck)	3,06	3,060	0,061	0,24		
						4,89	4,89	$\Delta S_{dyn,4}$ (5.16)	-0,07	-	-	-		
								ΔS_{dyn2}	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn3}	-	-	-	-		
								$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	-8,34	-5,831	-0,117	-0,47		
								$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$ (K)	-1,01	-1,757	-0,035	-0,14		
								$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$ (K)	2,45	2,450	0,049	0,20		
2	0,04 - 0,08	8,97	39,11	-1,12	-3,96			S_{dyn4} (5.13)	-9,28	-6,493	-0,376	-1,51		0,38
								$S_{dyn,2}$ (Krafteck)	-1,43	-2,487	-0,135	-0,54		0,05
								S_{dyn3} (Krafteck)	2,53	2,530	0,150	0,60		
						5,99	5,94	$\Delta S_{dyn,4}$ (5.16)	-0,08	-	-	-		
								ΔS_{dyn2}	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn3}	-	-	-	-		
								$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	-9,37	-6,552	-0,379	-1,51		
								$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$ (K)	-1,50	-2,609	-0,139	-0,56		
								$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$ (K)	2,26	2,260	0,139	0,56		
3	0,08 - 0,12	26,62	154,3	-2,50	-12,87			S_{dyn4} (5.13)	-11,86	-8,293	-0,710	-2,84		1,34
								$S_{dyn,2}$ (Krafteck)	-2,69	-4,678	-0,327	-1,31		0,28
								S_{dyn3} (Krafteck)	1,98	1,980	0,219	0,87		
						17,67	17,61	$\Delta S_{dyn,4}$ (5.16)	-0,10	-	-	-		
								ΔS_{dyn2}	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn3}	-	-	-	-		
								$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	-11,96	-8,364	-0,713	-2,85		
								$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$ (K)	-2,98	-5,183	-0,347	-1,39		
								$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$ (K)	0,68	0,680	0,167	0,67		
4	0,12 - 0,16	-10,28	-92,23	0,40	6,27			S_{dyn4} (5.13)	-14,53	-10,161	-1,120	-4,48		3,33
								$S_{dyn,2}$ (Krafteck)	-4,71	-8,191	-0,674	-2,70		1,21
								S_{dyn3} (Krafteck)	-3,83	-3,830	0,013	0,05		
						-7,15	-7,42	$\Delta S_{dyn,4}$ (5.16)	0,52	-	-	-		
								ΔS_{dyn2}	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn3}	-	-	-	-		
								$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	-14,01	-9,799	-1,105	-4,42		
								$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$ (K)	-4,91	-8,539	-0,688	-2,75		
								$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$ (K)	-7,00	-7,000	-0,113	-0,45		
5	0,16 - 0,20	-2,84	-44,03	-0,18	2,50			S_{dyn4} (5.13)	-15,59	-10,899	-1,541	-6,16		6,31
								$S_{dyn,2}$ (Krafteck)	-5,60	-9,739	-1,078	-4,31		3,09
								S_{dyn3} (Krafteck)	-4,96	-4,960	-0,312	-1,25		
						-2,43	-2,38	$\Delta S_{dyn,4}$ (5.16)	2,01	-	-	-		
								ΔS_{dyn2}	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn3}	-	-	-	-		
								$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	-13,58	-9,493	-1,485	-5,94		
								$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$ (K)	-3,89	-6,765	-0,959	-3,84		
								$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$ (K)	-9,99	-9,990	-0,513	-2,05		
6	0,20 - 0,247	-7,35	0,00	0,19	1,00			S_{dyn4} (5.13)	0,00	0,000	0,000	0,00		0,00
								$S_{dyn,2}$ (Krafteck)	-6,34	-12,070	-1,442	-5,77		5,52
								S_{dyn3} (Krafteck)	-2,29	-2,285	-0,604	-2,42		
						0,82	0,00	$\Delta S_{dyn,4}$ (5.16)	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn2}	-	-	-	-		
								ΔS_{dyn3}	-2,66	-	-	-		
								$S_{dyn4} + \Delta S_{dyn4}$	0,00	0,000	0,000	0,00		
								$S_{dyn2} + \Delta S_{dyn2}$ (K)	-6,43	-11,183	-1,485	-6,98		
								$S_{dyn3} + \Delta S_{dyn3}$ (K)	-4,95	-4,949	-0,746	-3,50		

Legende: X,XX S_{dyn} und ΔS_{dyn} mit Formeln (4.13) und (4.16) berechnete Werte

X,XX wird aus dem Krafteck hier eingetragen

X,XX gibt Wegstrecke im Lageplan vor

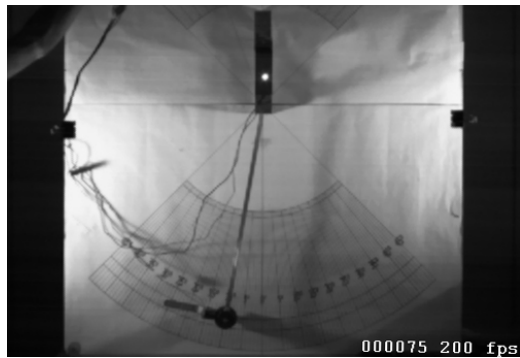
- für die Analyse nicht erforderlich

Anhang zu Abschnitt 6.4.1

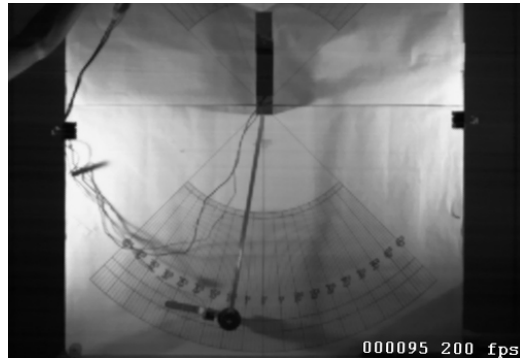
Beispiel 1: Einmassenpendel mit kleiner Amplitude (10°)

Highspeedaufnahme mit 200 Bildern pro Sekunde

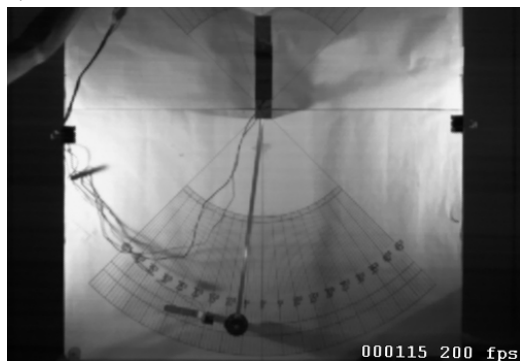
Zeitschritte der Abbildungen: $\Delta t = 0,10$ Sekunden (alle 20 Bilder)



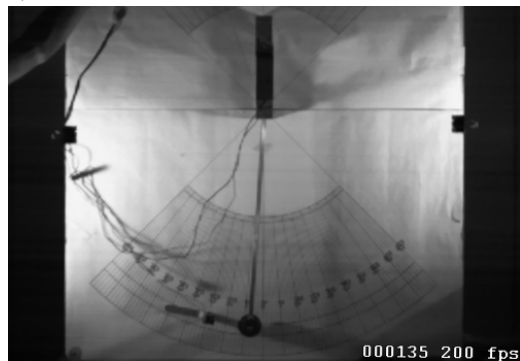
a)



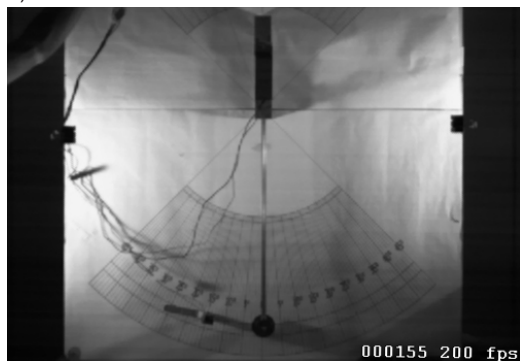
b)



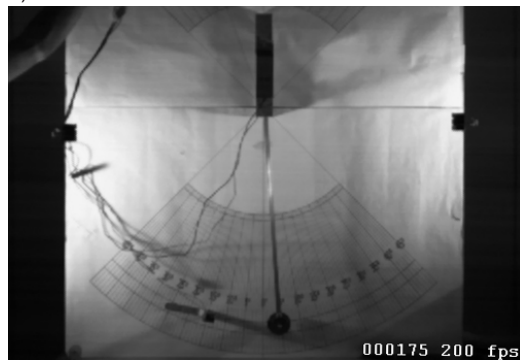
c)



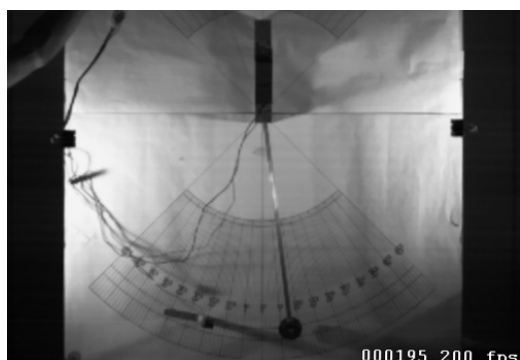
d)



e)



f)



g)



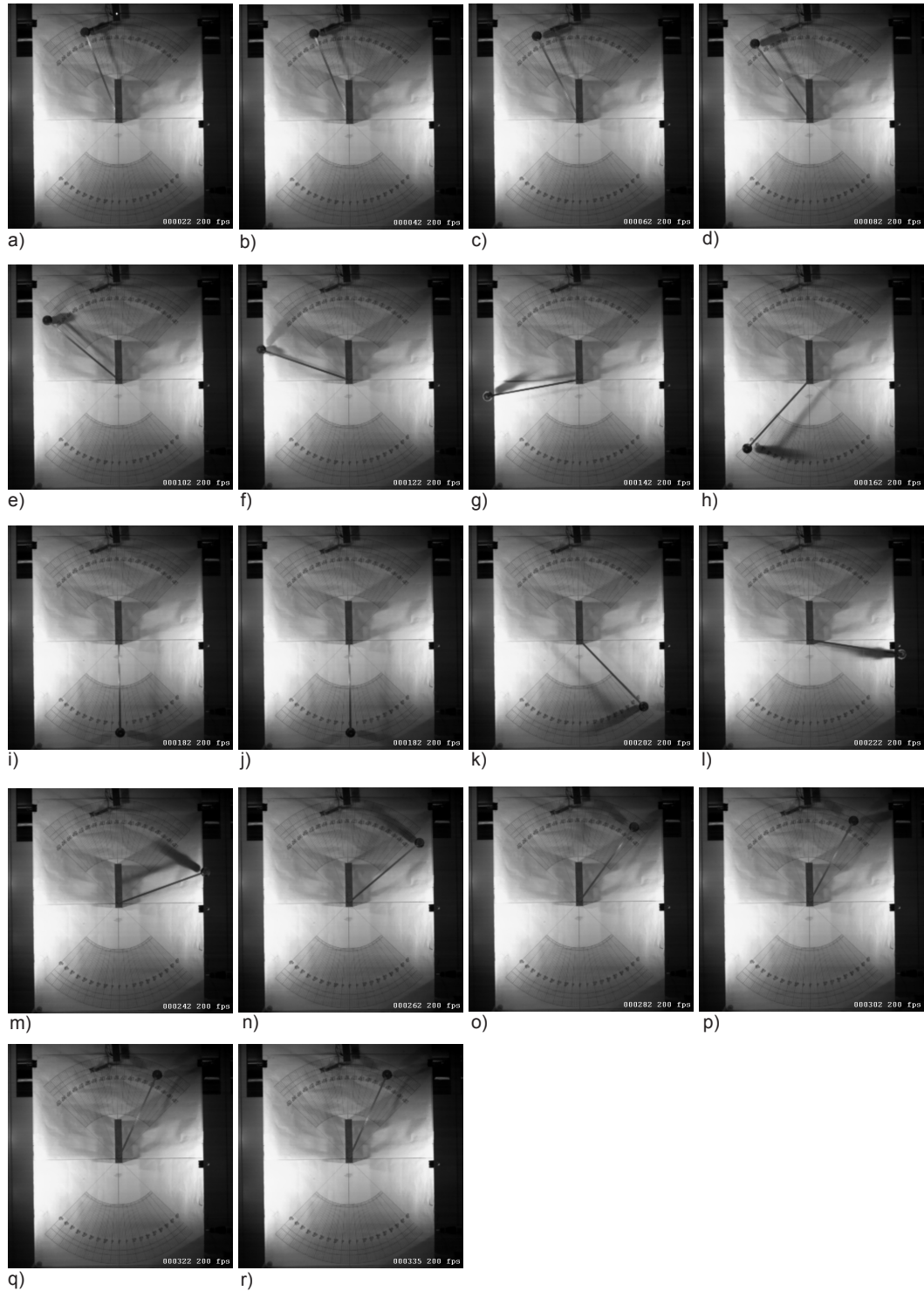
h)

Anhang zu Abschnitt 6.4.2

Beispiel 2: Einmassenpendel mit großer Amplitude (160°)

Highspeedaufnahme mit 200 Bildern pro Sekunde

Zeitschritte der Abbildungen: $\Delta t = 0,10$ Sekunden (alle 20 Bilder)



Anhang zu Abschnitt 6.4.4

Beispiel 4: Sinusförmiger Bogen mit symmetrischer Last

Highspeedaufnahme mit 200 Bildern pro Sekunde

Zeitschritte der Abbildungen: $\Delta t = 0,04$ Sekunden (alle 8 Bilder)



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



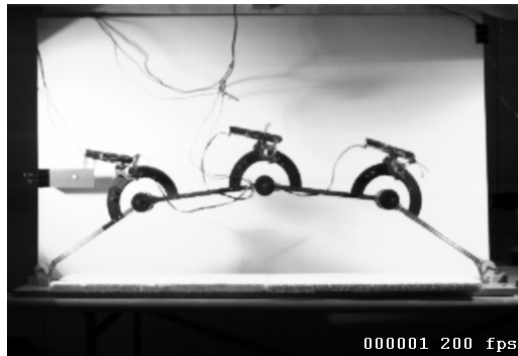
h)

Anhang zu Abschnitt 6.4.5

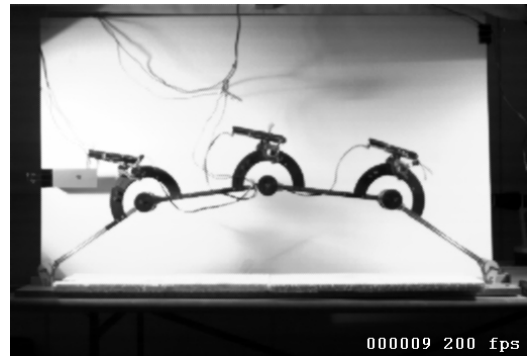
Beispiel 5: Rahmeartiger Bogen mit symmetrischer Last

Highspeedaufnahme mit 200 Bildern pro Sekunde

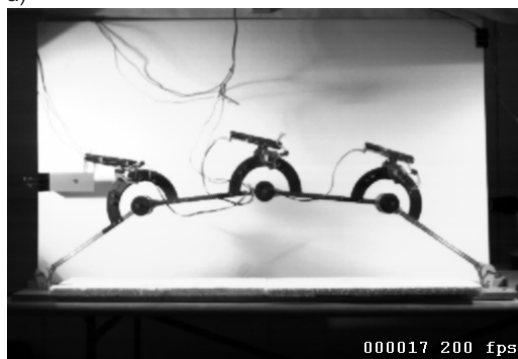
Zeitschritte der Abbildungen: $\Delta t = 0,04$ Sekunden (alle 8 Bilder)



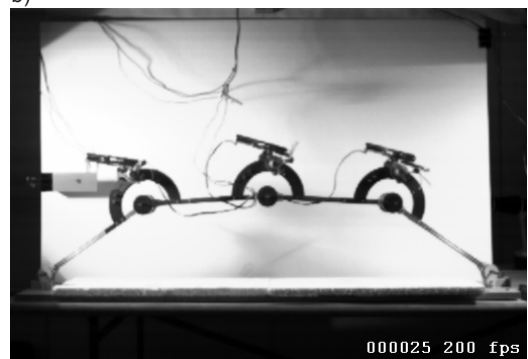
a)



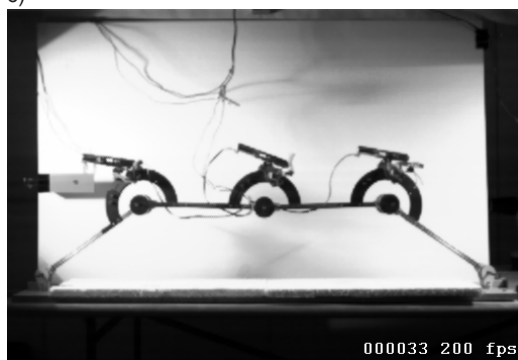
b)



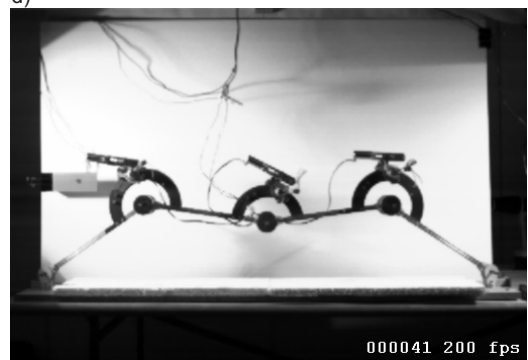
c)



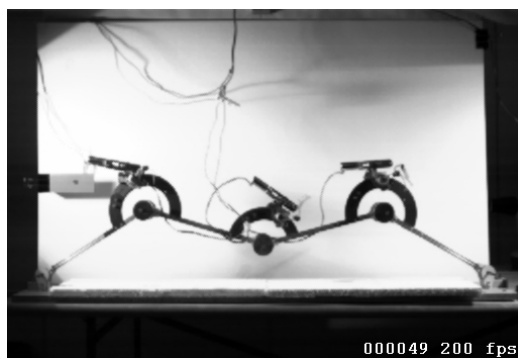
d)



e)



f)



g)



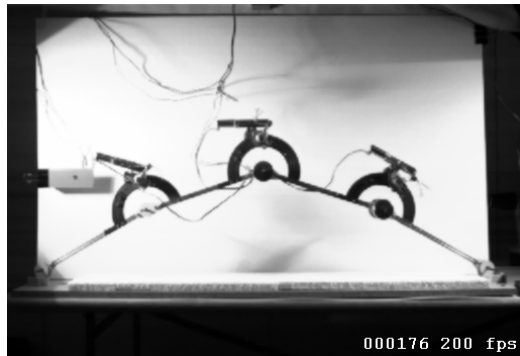
h)

Anhang zu Abschnitt 6.4.6

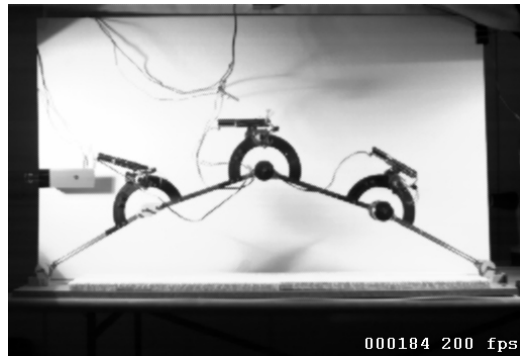
Beispiel 6: Sinusförmiger Bogen mit asymmetrischer Last

Highspeedaufnahme mit 200 Bildern pro Sekunde

Zeitschritte der Abbildungen: $\Delta t = 0,04$ Sekunden (alle 8 Bilder)



a)



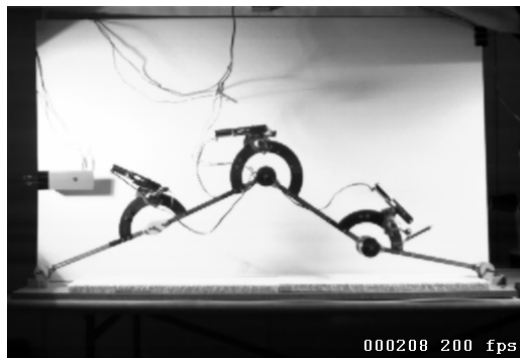
b)



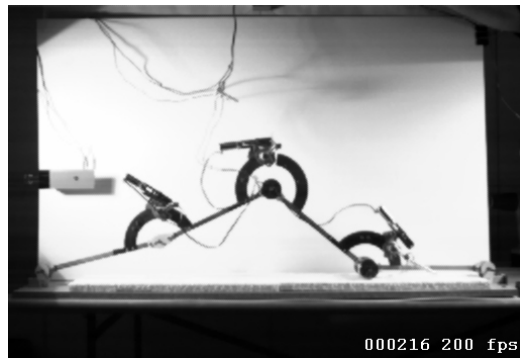
c)



d)



e)



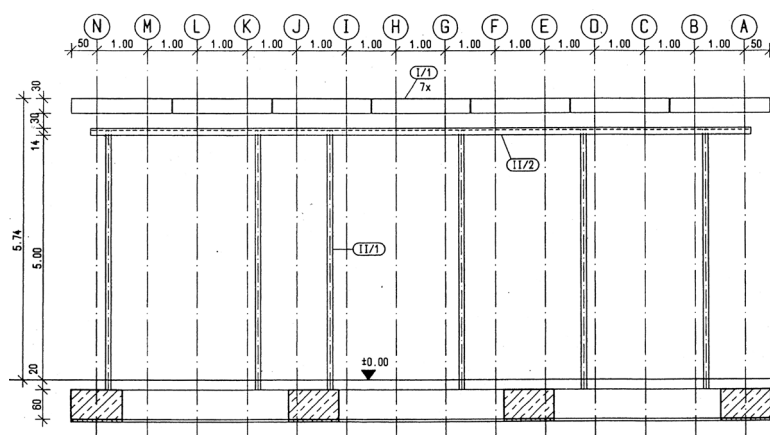
f)



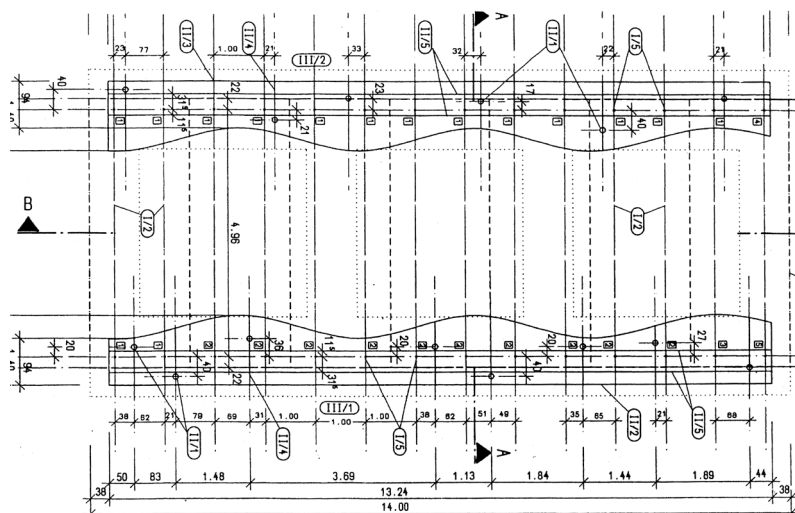
g)

Anhang zu Abschnitt 7.1

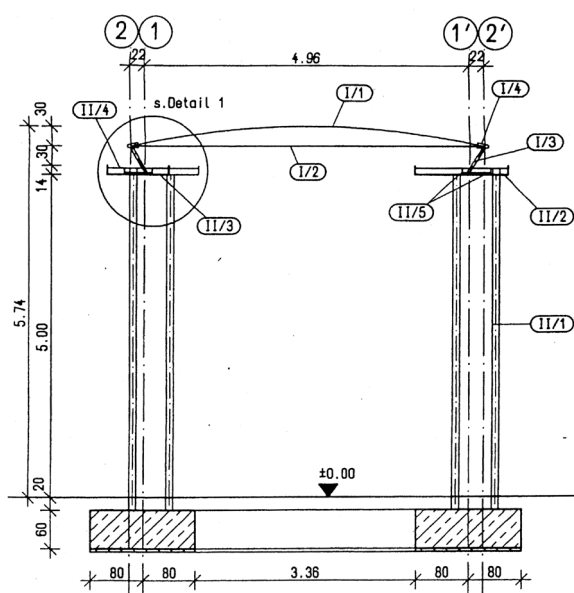
Ansichten und Schnitte des Glasbogendachs in Wasseraffingen, aus [F31]



Ansicht, ohne Massstab



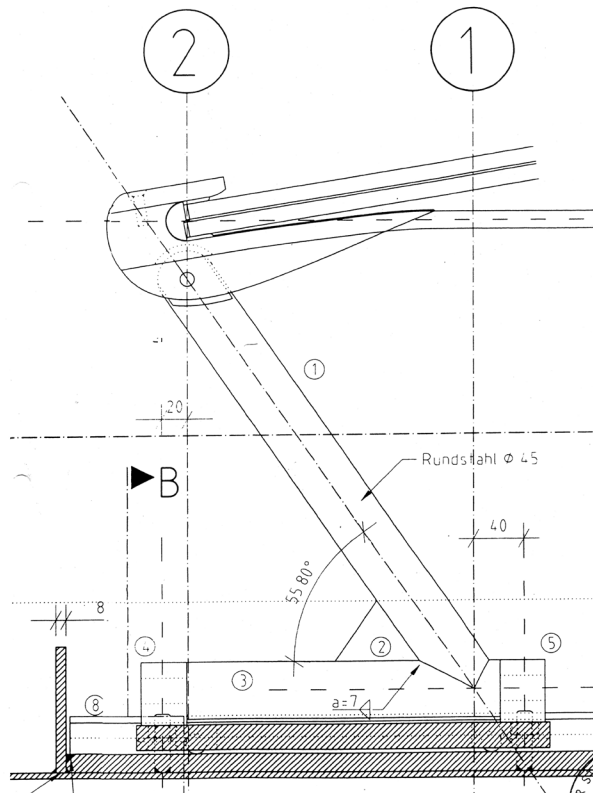
Aufsicht, ohne Massstab



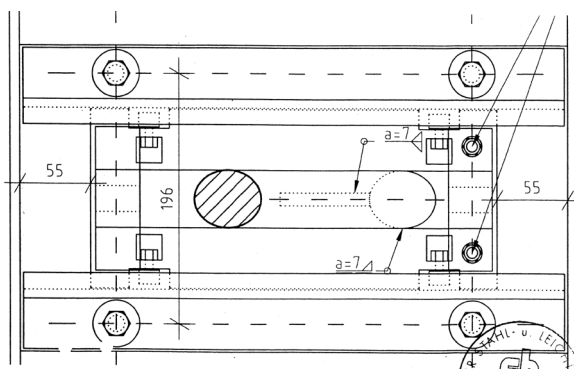
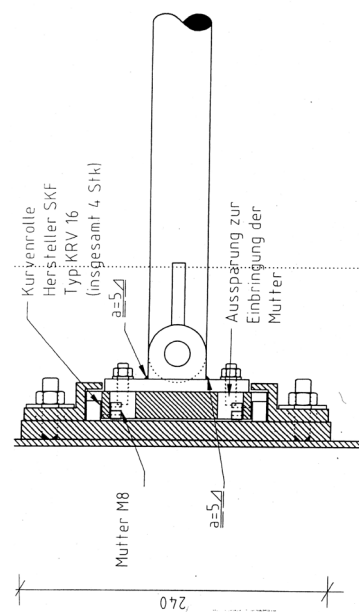
Schnitt, ohne Massstab

Anhang zu Abschnitt 7.1

Details der Lagerungen des Glasbogendachs in Wasserralfingen, aus [F31]

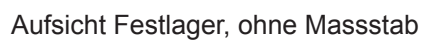
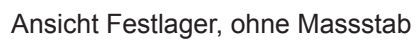


Schnittansicht Loslager, ohne Massstab



Aufsicht Loslager, ohne Massstab

Details der Lagerungen des Glasbogendachs in WasseraIfingen, aus [F31]



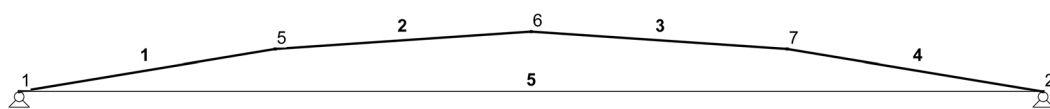
Anhang zu Abschnitt 7.5.2

Verformungsberechnung

Lastfall: Eigengewicht

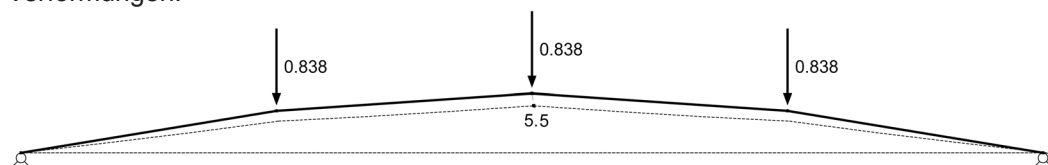
Der Einfluss der Lastdauer und der Temperatur auf die Nachgiebigkeit des Verbundes zwischen den Scheiben und damit auf die Biegesteifigkeit des Systems wird durch die reduzierte Querschnittshöhe des monolithisch modellierten Glaskörpers berücksichtigt:
 $h = 17.9 \text{ mm}$

System:

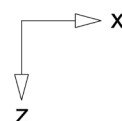


Querschnitte 1 - 4: Rechteck $b/h = 995 / 17.9 \text{ mm}$, $I = 47.3 \text{ cm}^4$
 $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$ (Glas)
Rundstab $d = 14 \text{ mm}$, $E = 170.000 \text{ N/mm}^2$ (Edelstahl)

Verformungen:



Knoten 5 + 7: $f_z = 4 \text{ mm}$
Knoten 6: $f_z = 6 \text{ mm}$
Knoten 2: $f_x = 2 \text{ mm}$



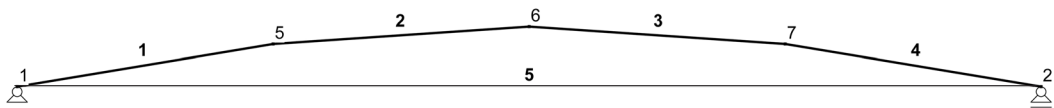
Anhang zu Abschnitt 7.5.2

Verformungsberechnung

Lastfall: Schnee

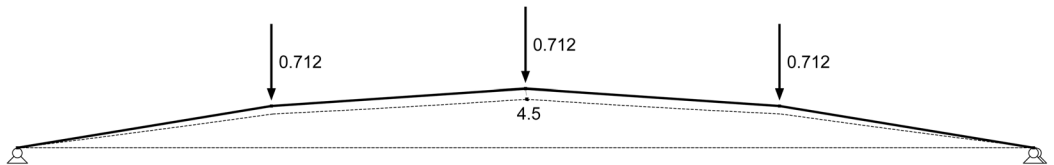
Der Einfluss der Lastdauer und der Temperatur auf die Nachgiebigkeit des Verbundes zwischen den Scheiben und damit auf die Biegesteifigkeit des Systems wird durch die reduzierte Querschnittshöhe des monolithisch modellierten Glaskörpers berücksichtigt:
 $h = 23.7 \text{ mm}$

System:

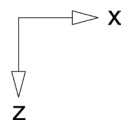


Querschnitte 1 - 4: Rechteck $b/h = 995 / 23.7 \text{ mm}$, $I = 110.4 \text{ cm}^4$
 $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$ (Glas)
Rundstab $d = 14 \text{ mm}$, $E = 170.000 \text{ N/mm}^2$ (Edelstahl)

Verformungen:



Knoten 5 + 7: $f_z = 3 \text{ mm}$
Knoten 6: $f_z = 5 \text{ mm}$
Knoten 1: $f_x = 1 \text{ mm}$



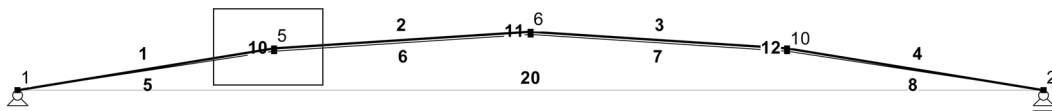
Anhang zu Abschnitt 7.5.2

Verformungsberechnung

Lastfall: Bruch der unteren Scheibe

Zur Verformungsberechnung des Lastfalls «Bruch der unteren Scheibe» wurde die obere Scheibe als Balken und die untere Scheibe als Druckstab modelliert. Dadurch wird ausgeschlossen, dass die untere Scheibe im gebrochenen Zustand Biegung oder Zugkräfte aufnimmt. Beide Scheiben wurden in den Knickpunkten Schubstarr miteinander gekoppelt, um den Verbund über die PVB-Folie zu berücksichtigen. Da es sich bei der Zerstörung um eine schlagartige Last bei niedriger Temperatur handelt, wurde ein voller Verbund in den Knotenpunkten berücksichtigt.

System:



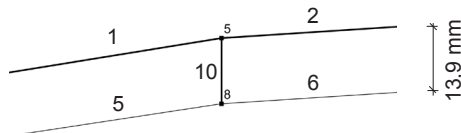
Querschnitte 1 - 4: Rechteck $b/h = 995 / 12$ mm (Balken), $E = 70.000$ N/mm²

Querschnitte 5 - 8: Rechteck $b/h = 995 / 4.8$ mm (Druckstab), $E = 70.000$ N/mm²

Querschnitte 10 - 12: Schubstarre Verbindung der modellierten Glasscheiben

Querschnitt 20: Rundstab $d = 14$ mm, $E = 170.000$ N/mm²

Ausschnitt:



Belastung:



Resultierende Druckkraft aus der Expansion des brechenden Glases: $R_{\text{Druck}} = -256$ kN

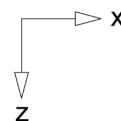
Verformungen:



Knoten 5 + 10: $f_z = 9$ mm

Knoten 6: $f_z = -5$ mm

Knoten 1: $f_x = 2$ mm

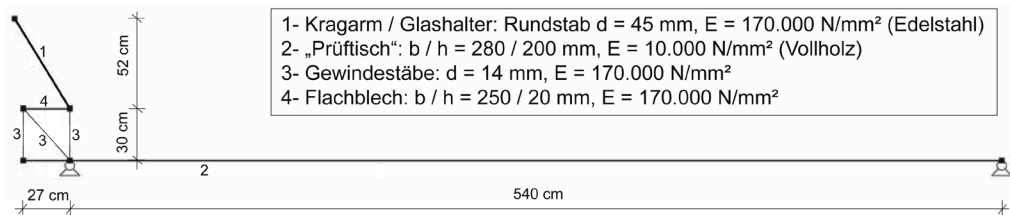


Anhang zu Abschnitt 7.5.6

Nachgiebigkeit der Glashalterungen und des Prüfaufbaus
Modellierung des Lagers als horizontale Translationsfeder



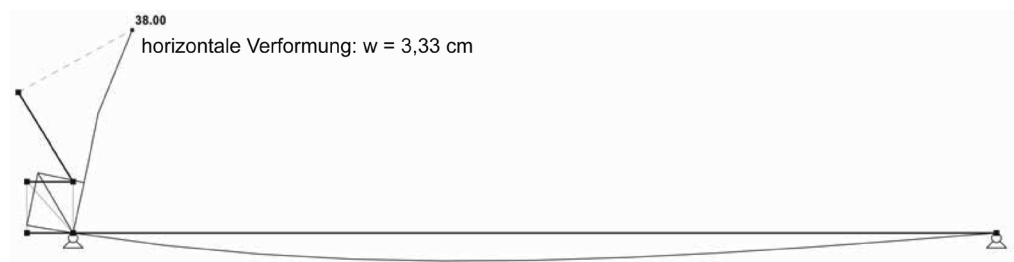
System: Querschnitte



Belastung



Verformungen

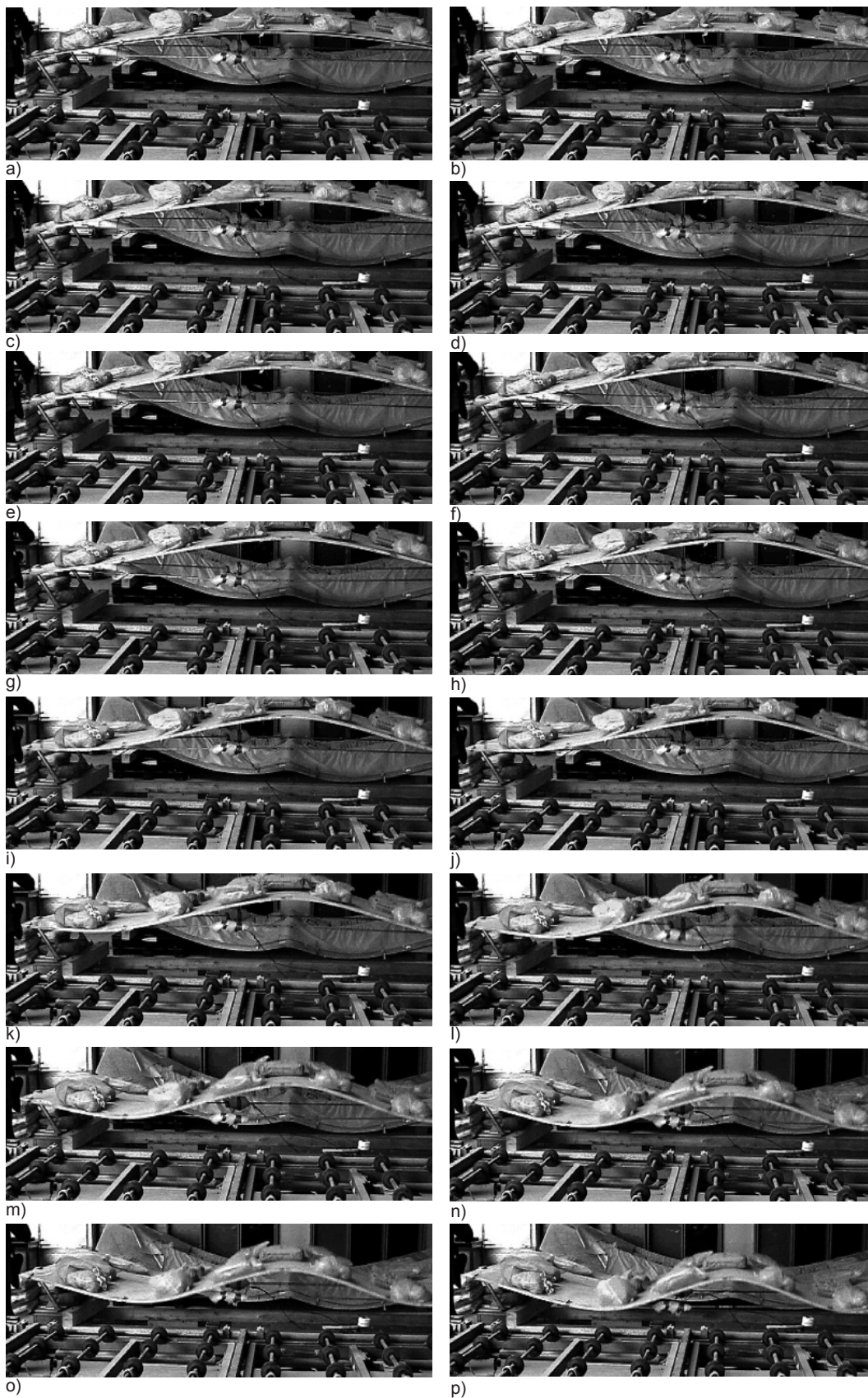


Federsteifigkeit: $k = 10 \text{ kN} / 3,33 \text{ cm} = 3,0 \text{ kN/cm}$

Anhang zu Abschnitt 7.5.7

Großversuch: Glasbogen aus Verbundsicherheitsglas mit Zugband in Wasseralfingen

Aufnahme: Bilder alle 0,033 Sekunden





q)



r)



s)



t)



u)



v)

10 Literaturverzeichnis

Fachbücher und Dissertationen

- [F1] A. Hentschel: Beschreibung und Analyse der Wechselwirkung zwischen Strömung und Gebäudeform unter Verwendung eines dynamischen Stabwerkmodells, TU Darmstadt, Dissertation, 2003
- [F2] M. Fahlbusch: Ermittlung der Resttragfähigkeit von Verbundsicherheitsglas am Beispiel des Bogens mit Zugband, TU Darmstadt, Dissertation, 2007
- [F3] J. Schlaich, D. Weischede: Ein praktisches Verfahren zum methodischen Bemessen und Konstruieren, CEB-Bulletin d'information Nr. 150, CEB bureau de Paris, 1982
- [F4] E. Mörsch: Der Eisenbetonbau, seine Theorie und Anwendung, Wittwer Verlag Stuttgart, 1912
- [F5] C. Petersen: Schwingungsdämpfer im Ingenieurbau, Maurer Söhne GmbH & Co.KG, 2001
- [F6] E. Hering, R. Martin, M. Stohrer: Physik für Ingenieure, VDI Verlag, 1989
- [F7] Groß, Hauger, Schnell: Technische Mechanik - Band 1 - Statik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1986
- [F8] Hauger, Schnell, Gross: Technische Mechanik 3 - Kinetik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, 1990
- [F9] A. Kott: Zum Trag- und Resttragverhalten von Verbundsicherheitsglas, ETH Zürich, Dissertation, 2006
- [F10] A. Fink: Ein Beitrag zum Einsatz von Floatglas als dauerhaft tragender Konstruktionswerkstoff im Bauwesen, Universität Darmstadt, Darmstadt, 2000
- [F11] E. Wölfel: Nachgiebiger Verbund – Eine Näherungslösung und deren Anwendungsmöglichkeiten, Stahlbau 6/1987
- [F12] W. Sobek, P. Beyle, M. Kutterer, D. Bohmann: Anwendungsvorschlag des AK VSG für den Fachverband Konstruktiver Glasbau, Entwurf, Juli 2010
- [F13] C. Petersen: Dynamik der Baukonstruktionen, Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig / Wiesbaden, 1996
- [F14] A. Luible: Stabilität von Tragelementen aus Glas, EPFL These No. 3014, Lausanne, 2004
- [F15] A. Einstein, Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- [F16] A. Petzold, H. Marusch, B. Schramm: Der Baustoff Glas, Verlag für Bauwesen, Berlin, Schondorf, 1990
- [F17] C. Schittich: Glasbau-Atlas, Birkhäuser Verlag, Basel, 1998
- [F18] K. Schneider: Bautabellen für Ingenieure, 10. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf
- [F19] Schnell, Groß, Hauger: Technische Mechanik 2 - Elastostatik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, 1990
- [F20] W. Schuler: Beitrag zum Einsatz von Glas als tragendes Bauteil im konstruktiven

- Ingenieurbau, TU München, München, 2003
- [F21] G. Sedlacek, K. Blank, W. Laufs, J. Güsgen: Glas im konstruktiven Ingenieurbau, Ernst & Sohn, Berlin, 1999
 - [F22] G. Siebert: Beitrag zum Einsatz von Glas im als tragendes Bauteil im konstruktiven Ingenieurbau, Universität München, München, 1999
 - [F23] J. Wörner, J. Schneider, A. Fink: Glasbau - Grundlagen, Berechnung, Konstruktion, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001
 - [F24] C. Schuler: Einfluss des Materialverhaltens von Polyvinylbutyral auf das Tragverhalten von Verbundsicherheitsglas in Abhängigkeit von Temperatur und Belastung, TU München, München, 2003
 - [F25] C. Petersen: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1982
 - [F26] B. Siebert: Beitrag zur Berechnung punktgehaltener Gläser, TU München, München, 2004
 - [F27] J. Wörner, G. Sedlacek : Der Baustoff Glas im konstruktiven Ingenieurbau, 1991
 - [F28] F. Schneider: Ein Beitrag zum inelastischen Materialverhalten von Glas, TU Darmstadt, Darmstadt Dissertation, 2005
 - [F29] D. Gross, W. Hauger, P. Wriggers: Technische Mechanik 4 - Hydromechanik, Elemente der höheren Mechanik, Numerische Methoden, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2007
 - [F30] J. Schneider: Festigkeit und Bemessung punktgelagerter Gläser und stoßbeanspruchter Gläser, TU Darmstadt, Darmstadt Dissertation, 2001
 - [F31] Ö. Bucak: Prüfbericht: Nr.: 2002 - 3024: Labor für Stahl- und Leichtmetallbau der FH München, 2002
 - [F32] Dankert / Dankert: Mathematik für die technische Mechanik, <http://www.dankertdankert.de/>
 - [F33] Ö. Bucak: Gutachterliche Stellungnahme zur gebogenen Überkopfvorglasung
 - [F34] Ö. Bucak, C. Schuler, A. Lorenz, A. Meier: Verbundwirkung bei VSG-Scheiben mit PVB-Zwischenschicht, Forschungsbericht Nr. 2000-1003, Labor für Stahl- und Leichtbau, FH München
 - [F35] Ö. Bucak, C. Schuler, A. Lorenz, A. Meier: Verbundwirkung bei VSG-Scheiben mit PVB-Zwischenschicht, Forschungsbericht Nr. 2001-1004, Labor für Stahl- und Leichtbau, FH München
 - [F36] U. Knaack: Konstruktiver Glasbau, Rudolf Müller Verlag, Köln, 1998
 - [F37] H. Scholze: Glas - Natur, Struktur und Eigenschaften, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1988
 - [F38] U. Knaack, Führer, J. Wurm: Konstruktiver Glasbau 2, Rudolf Müller Verlag, Köln, 2000
 - [F39] R. Nijse: Tragendes Glas, Elemente, Konzepte, Entwürfe, Birkhäuser Verlag, Basel, Berlin, Boston, 2003

Normen und Richtlinien

- [N1] DIN 1249-10, Flachglas im Bauwesen – chemische und physikalische Eigenschaften, Beuth Verlag Berlin, 1990
(veraltet, wurde ersetzt durch DIN EN 572-1 01/1995)
- [N2] DIN 1055-3, Lastannahmen für Bauten, Beuth Verlag, Berlin, 2006
- [N3] DIN EN 572-1, Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas - Definitionen und allgemeine physikalische und mechanische Eigenschaften, Beuth Verlag, Berlin, 09/2004
- [N4] DIN EN 572-2, Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronglas-Floatglas, Beuth Verlag, Berlin, 09/2004
- [N5] DIN EN 12543 Teil 1-5, Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas, Beuth Verlag, Berlin, 07/2008 (Norm im Entwurf)
- [N6] DIN EN 12150-1, Glas im Bauwesen – Thermisch vorgespanntes Einscheiben-Sicherheitsglas, Definition und Beschreibung, Beuth Verlag, Berlin, 1996
- [N7] DIN EN 12543 Teil 1-4, Verbundglas und Verbundsicherheitsglas, Beuth Verlag, Berlin, 1998
- [N8] DIN EN 12543 Teil 5, Verbundglas und Verbundsicherheitsglas – Masse und Kantenbearbeitung, Beuth Verlag, Berlin, 1998
- [N9] Merkblatt, Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen an nicht geregelte Überkopfverglasungen, Baubehörde des Bayerischen Staatsministeriums, Januar 2008
- [N10] TRPV, Technische Regeln für die Bemessung und die Ausführung punktförmig gelagerter Verglasungen, Deutsches Institut für Bautechnik, 2006
- [N11] TRAV, Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2003
- [N12] TRLV, Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2006
- [N13] DIN 1052, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, Beuth Verlag, Berlin, 2004
- [N14] DIN EN 1288-3, Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas, Beuth Verlag, Berlin, 09/2000
- [N15] DIN EN ISO 1288-4, Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas, Beuth Verlag, Berlin, 10/2007 (Norm im Entwurf)
- [N16] DIN EN ISO 527 Teil 1 - Teil 2, Kunststoffe, Bestimmung der Zugeigenschaften, Beuth Verlag, Berlin, 1996
- [N17] DIN EN ISO 527 Teil 3, Kunststoffe, Bestimmung der Zugeigenschaften, Beuth Verlag, Berlin, 2003
- [N18] DIN EN ISO 527 Teil 4 – Teil 5, Kunststoffe, Bestimmung der Zugeigenschaften, Beuth Verlag, Berlin, 1997

11 Lebenslauf

Geboren 21.09.1970
Geburtsort Frankfurt-Höchst
Familienstand Verheiratet mit Frau Antje Fuchs
Kinder: Elisabeth Brückner und Mathilda Brückner

Schulbildung

1977 - 1981 Geschwister Scholl Schule (Grundschule) in Schwalbach / Ts.
1981 - 1987 Friedrich- Ebert- Schule (Gesamtschule) in Schwalbach / Ts.
1987 - 1990 Eichwaldgymnasium (gymnasiale Oberstufe) in Schwalbach / Ts.
06/1990 Abitur am Eichwaldgymnasium in Schwalbach / Ts.

Zivildienst

1990 - 1991 Zivildienst in der evangelischen Limesgemeinde in Schwalbach / Ts.

Studium

1991 Immatrikulation am FB Bauingenieurwesen der TU Darmstadt
1993 Vordiplom Bauingenieurwesen
1993 Immatrikulation am FB Architektur der TU Darmstadt
1996 Vordiplom Architektur
03/1999 Diplom im FB Bauingenieurwesen an der TU Darmstadt
06/2004 Diplom im FB Architektur an der TU Darmstadt

Tätigkeit neben dem Studium

1993 - 1994 Tutor für konstruktive Geometrie am FB Bauingenieurwesen
1996 - 1997 Studentische Mitarbeit im Ingenieurbüro für Geotechnik, Gündling in Darmstadt
1998 - 1999 Studentische Mitarbeit im Ingenieurbüro Bollinger und Grohmann in Frankfurt am Main

Berufspraxis

1999 - 2002 Tragwerksplaner im Ing. Büro Bollinger & Grohmann, Frankfurt
2003 - 2005 Tragwerksplaner im Ing. Büro osd, Frankfurt am Main
2005 - 2010 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Darmstadt
davon 5 Monate Elternzeit (11/2009 - 03/2010)